تغییرات خصوصیات فیزیکی و ریزساختاری سوریمی ماهی شوریده دهان سیاه (*Atrobucca nibe*) طی نگهداری در شرایط انجماد (۱۸- درجه سانتی‌گراد)

سیدپژمان حسینی‌شکرابی[۱]، سیدابراهیم حسینی[۲*]، مهدی سلطانی[۳]، ابولقاسم کمالی[۱] و تورج ولی‌نسب[٤]

۱) گروه شیلات، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲) گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. *رایانامه نویسنده مسئول: ebhoseini@srbiau.ac.ir
۳) گروه بهداشت و بیماری‌های آبزیان، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
٤) موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۹/۱٦ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۳۰

چکیده

ماهی شوریده دهان سیاه (*Atrobucca nibe*) به عنوان یک ذخیره جدید و ارزشمند در آب‌های عمیق دریای عمان تلقی می‌گردد. در این مطالعه از اندازه‌های غیربازاری این ماهی به صورت دستی سوریمی و ژل کامابوکو تهیه گردید و تغییرات خصوصیات فیزیکی و ریز ساختاری آنها در شرایط انجماد به مدت ۶ ماه نگهداری در سردخانه بررسی شد. با افزایش مدت زمان نگهداری شاخص سفیدی از ۰/۲۰±۶۶/۲۴ درصد به ۰/۲۳±۶۰/۱۱ درصد و قدرت تشکیل ژل از ۵۶/۵۸۳±۵۸۳/۵۳ به ۳۱/۵۱۸±۳۰۳/۶۰ سانتی‌متر×گرم در ماه ششم نگهداری افت نمود. بیشترین محتویات تحت فشار نمونه ژل کامابوکو (۰/۲۶۸±۷/۴۲ درصد) در ماه ششم نگهداری حاصل شد ($p<0.05$). امتیاز کیفی قابلیت تاشدن ژل سوریمی با افزایش زمان نگهداری به ۰/۵۰۰±۳/۷۵ کاهش یافت. افزایش زمان نگهداری سبب پدیدار شدن ساختارهای پروتئینی درشت و نامنظم در شبکه پروتئینی سوریمی شد. به طور معنی‌داری میانگین تعداد پلی‌گونال‌های سوریمی با افزایش زمان نگهداری از ۲۸۰±۱۵۰۳۸ به ۵۶۴±۱۰۳۹۹ عدد در میلی‌مترمربع کاهش یافته و مساحت آنها از ۰/۹±۲۷ به ۴/۵±۸۴ میکرومترمربع افزایش یافت ($p<0.05$). نتایج نشان داد به رغم افت نسبی خواص عملکردی پروتئین‌های سوریمی در اثر دناتوره شدن طی زمان نگهداری در سردخانه، سوریمی تولیدی هنوز قابل پذیرش و استفاده خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: ریزساختار، سوریمی، شوریده دهان سیاه، ژل کامابوکو، انجماد.

مقدمه

سوریمی واژه‌ای ژاپنی است که به عنوان یک ماده غذایی حد واسط که از گوشت‌گیری ماهی تازه، شستشو، آب‌گیری و در نهایت حذف ترکیبات محلول در آب و آب نمک رقیق شامل ترکیبات نیتروژن‌دار فرار، پروتئین‌های سارکوپلاسمیک، خون، املاح، برخی لیپیدها و آنزیم‌ها تهیه می‌شود (Pipatsattayanuwong *et al*., 1995؛ Park & Lin, 2005). میزان درخواست جهانی سوریمی هر ساله به دلایل حذف بوی طبیعی ماهی، امکان تهیه فرآوردهای مختلف بر پایه آن و قابلیت انبارداری در سردخانه در اثر افزودن مواد محافظ سرمایی روند صعودی داشته و در نتیجه میزان تولید جهانی آن در سال ۲۰۱۲ به

۷۳٦۵۰۰ تن رسیده است (Globefish, 2012). قابلیت تشکیل ژل به دلیل بالا بودن میزان پروتئین‌های میوفیبریل در سوریمی نسبت به گوشت طبیعی ماهی از فاکتورهای کیفی مهم محسوب شده که در این میان تولید و ارزیابی ژل کامابوکو (Kamaboko) متداول است (Pan *et al*., 2010 ؛Park, 2005).

سوریمی تهیه شده از شوریده ماهیان (خانواده Scianidae) کیفیت بالایی داشته و با ارزش صادراتی بالا از قابلیت مناسبی برای ترکیب با سایر ماهیان پرچرب در جهت بهبود خواص فیزیکی ومکانیکی محصولات تولید شده بر پایه سوریمی برخوردار است (Park, 2005 ؛Lanier, 1994). شوریده دهان سیاه (*Atrobucca nibe*) به عنوان یک ذخیره جدید و ارزشمند در آب‌های عمیق دریای عمان تلقی می‌گردد که ارزش بالای غذایی آن از نقطه نظر چربی کم، بالا بودن اسیدهای چرب امگا-۳ و اسیدهای آمینه ضروری گزارش شده است (حسینی‌شکرابی و همکاران، ۱۳۹۲$_{a,b}$).

انجماد به عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های نگهداری فرآورده‌های شیلاتی محسوب شده که از بروز فساد میکروبی جلوگیری نموده و سرعت واکنش‌های بیوشیمیایی (فساد از طریق فعالیت‌های آنزیمی) را به حداقل می‌رساند. با این حال افت کیفی پروتئین عضله به خصوص قابلیت تشکیل ژل در سوریمی منجمد اجتناب ناپذیر است (Matsumoto, 1980؛ Shenouda, 1980). قابلیت نگهداری سوریمی با توجه به گونه ماهی و درجه برودت انبار تا ۲٤ ماه نیز گزارش شده است (Lee, 1984؛ Macdonald & Lanier, 1991). تحقیقات قابل توجه‌ای در زمینه تغییرات کیفی سوریمی تهیه شده از ماهیان مختلف در شرایط انجماد منتشر شده است. Singh و Balange (2005) گزارش نمودند که قدرت تشکیل ژل کامابوکو سوریمی ماهی سوف صورتی (*Nemipterus japonicus*) طی ۳٦ هفته انجماد از ۳۳۷ به ۹۷/٤۳ گرم در سانتی‌متر کاهش می‌یابد. ذخیره‌سازی منجمد سوریمی ماهیان آلاسکاپولاک، سرخوی چشم‌درشت، حسون و شوریده معمولی نیز سبب کاهش توانایی تشکیل ژل کامابوکو می‌شود (Scott *et al*., 1988؛ Benjakul *et al*., 2005). ارزیابی تغییرات ریزساختار سوریمی طی انجماد نشان‌دهنده تغییرات استحکام پروفایل ساختار بافت نمونه‌های ژل تولیده شده از سوریمی خواهد بود (Andrés-Bello *et al*., 2012). Alvarez و همکاران (۱۹۹۹) برای مثال گزارش کردند که پاسخ ژل کامابوکو سوریمی ماهی ساردین به آزمون نفوذ و فرآیند فشرده‌سازی آنالیز ساختار بافت در نمونه‌هایی با ریزساختارهای فشرده‌تر و متراکم‌تر میوفیبریل سوریمی مستحکم است.

ماهیانی با اندازه بزرگ (متوسط وزن ٦۰۰ گرم) شوریده دهان سیاه طی سالیان اخیر به صورت تازه و یا فیله منجمد به بازار مصرف ایران ارائه شده‌اند و مصرف اندازه‌های کوچک این ماهی زیاد معمول نیست. بنابراین، هدف از انجام این مطالعه تولید سوریمی از اندازه‌های کوچک شوریده دهان سیاه و ارزیابی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و ریزساختاری سوریمی و ژل کامابوکو تولید شده از آن در شرایط سردخانه (۱۸- درجه سانتی‌گراد) به مدت ٦ ماه بود.

مواد و روش‌ها

تعداد ۲٤ ماهی شوریده دهان سیاه با متوسط طول کل ۲/۱۱۸±۲۲/۹۱ سانتی‌متر توسط کشتی ترالر تحقیقاتی فردوس از آب‌های عمیق دریای عمان صید و پس از تخلیه امعاء و احشاء با آب سرد شستشو داده شدند. ماهیان در ادامه بسته‌بندی و با نسبت ۲:۱ ماهی به یخ تا زمان رسیدن به آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران (کمتر از ۸ ساعت) نگهداری گردیدند.

تولید سوریمی طبق روش Lee (۱۹۸٤) با اندکی تغییرات انجام شد. ابتدا پوست‌کنی و استخوان‌گیری از ماهیان به صورت دستی انجام شده و گوشت سفید بدون استخوان توسط چرخ گوشت (Panasonic, France) با مش ۳ میلی‌متر چرخ شد. گوشت چرخ شده دو مرحله با نسبت ۳:۱ گوشت به آب مقطر سرد (٤ درجه سانتی‌گراد) (w/v) و یک بار با آب نمک رقیق سرد (۰/۳ درصد کلرید سدیم) شسته شد. گوشت پس از هر مرحله شستشو درون پارچه ابریشمی پیچیده شده و آب‌گیری به صورت دستی انجام گرفت. مواد محافظ سرمایی تجاری (٤ درصد ساکارز، ٤ درصد سوربیتول و ۰/۳ درصد سدیم پلی‌فسفات w/w/w) در آخرین مرحله به خمیر آب‌گیری شده توسط مخلوط‌کن (Berjaya mixer, Malaysia) اضافه شد. سوریمی تهیه شده داخل کیسه‌های غیرقابل نفوذ به رطوبت بسته‌بندی و به صورت انفرادی توسط فریزر صفحه‌ای (۵±۷۰- درجه سانتی‌گراد) طی مدت ۲ ساعت منجمد شد. نمونه‌های منجمد سپس در دمای ۲±۱۸- درجه سانتی‌گراد تا قبل از انجام آزمایشات نگهداری شدند.

سوریمی منجمد برای آماده سازی ژل کامابوکو به مدت ۳ تا ٤ ساعت در دمای یخچال یخ‌زدایی شد و رطوبت آن در مخلوط‌کن توسط آب یخ تا ۸۰ درصد تنظیم شد. سپس مقدار ۲/۵ درصد کلرید سدیم جهت انحلال پروتئین‌های میوفیبریل به مخلوط اضافه شد تا سول سوریمی تهیه شود. تیغه و ظرف مخلوط‌کن از قبل جهت تعدیل دما حین عمل اختلاط به مدت ۳ ساعت در فریزر با دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس سول سوریمی به داخل پوشش‌های پلی‌وینیلیدین سوسیس (قطر ۲/۵ سانتی‌متر) پر شده و دو سر آنها کاملاً بسته شد. نمونه‌ها در حمام آب‌گرم (Memmert, Germany) به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ٤۰ درجه سانتی‌گراد و به دنبال آن برای ۲۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد حرارت دیدند. نمونه‌های ژل پخته شده به سرعت در آب یخ با دمایی بین ۰ تا۲ درجه سانتی‌گراد سرد شدند تا اثر دما بر آنها متوقف شود. سپس نمونه‌ها جهت قوام‌یابی به مدت ۲۰ ساعت در یخچال با دمای ٤ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Benjakul *et al.*, 2000). فاکتورهای رنگ سوریمی توسط دستگاه رنگ‌سنج (HunterLab colourflex, USA) انجام شد. فاکتورهای L* (روشنایی)، a* (قرمزی/سبزی) و b* (زردی/آبی) اندازه‌گیری و در نهایت شاخص سفیدی محصول طبق رابطه ۱ محاسبه شد (Park, 1994):

رابطه (۱): $\text{درصد شاخص سفیدی} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$

دستگاه آنالیز بافت (CT3-4500, Brookfield Engineering Laboratories, USA) جهت انجام آزمون نفوذ طبق روش پیشنهادی Benjakul و همکاران (۲۰۰۰) با اندکی تغییرات استفاده شد. پیستون استوانه‌ای ضدزنگ (قطر ۵ میلی‌متر) با سرعت ٦۰ میلی‌متر در دقیقه در وسط نمونه‌های ژل کامابوکو سوریمی (۲۵×۲۰ میلی‌متر) نفوذ کرده و فاکتورهای نیروی نفوذ بر حسب گرم و فاصله نفوذ بر حسب میلی‌متر توسط منحنی نیرو به فاصله تعیین و در نهایت قدرت تشکیل ژل بر حسب سانتی‌متر در گرم طبق رابطه ۲ محاسبه شد:

رابطه (۲): $\text{قدرت تشکیل ژل (g.cm)} = \text{فاصله نفوذ (cm)} \times \text{نیروشکست (g)}$

میزان آب‌چک یا محتویات رطوبت تحت فشار از روش Ng (۱۹۸۷) با اندکی تغییرات تعیین شد. ژل سوریمی برای این کار به قطعات دایره‌ای با ضخامت ۵ میلی‌متر توسط کولیس دیجیتال برش یافته و توزین گردید. نمونه (X) بین دو قطعه کاغذ صافی (Whatman No. 1) در بالا و سه قطعه در پایین قرار گرفت و فشاری به مدت ۲ دقیقه با قرار دادن وزنه

استاندارد ۵ کیلوگرم بر تمام سطح آن وارد شد. سپس نمونه‌ها توسط پنس از کاغذ صافی جدا گردیده و توزین شدند. درصد رطوبت (Y) تحت فشار در نهایت بر اساس رابطه ۳ محاسبه گردید.

رابطه (۳): $$\text{رطوبت فشارتحت (درصد)} = \frac{(X-Y)}{X} \times 100$$

آزمون استاندارد ژاپنی تاکردن در خصوص ارزیابی مکانیکی-حسی ژل سوریمی از طریق قرار دادن نمونه‌های ژل با قطر ۳ میلی‌متر بین انگشت شست و سبابه و برآورد میزان شکنندگی ژل تعیین شد (Poon *et al*., 1981). امتیازدهی میزان شکنندگی ژل به شکلی انجام گرفت که ۵ (AA): پس از دو بار فشرده شدن هیچ شکافی در دو طرف ژل مشاهده نشود، ٤ (A): پس از فشار دادن هیچ شکافی در یک نیمه آن مشاهده نشود، ۳ (B): پس از فشار دادن به‌تدریج در یک سمت ژل ترک‌هایی دیده شود، ۲ (C): بلافاصله پس از فشردن ترک‌هایی در آن دیده شود و ۱ (D): با فشار انگشت خرد شود.

مطالعه ریزساختار سوریمی طبق روش Rawdkuen و Benjakul (۲۰۰۸) با اندکی تغییرات انجام شد. قطعات مکعبی شکل با قطر ۲تا ۳ میلی-متری از داخل نمونه‌های ژل کامابوکو سوریمی برای سنجش میکروسکوپی ساختار بافت نمونه‌ها تهیه شد. نمونه‌ها در بافر فسفات حاوی ۲ درصد گلوتارآلدئید با pH=۷/۳ به مدت ۲/۵ ساعت ثابت شدند. سپس نمونه‌ها برای ۱ ساعت در آب مقطر، قبل از فرآیند آب‌گیری توسط غلظت‌های مختلف محلول اتانول (از ۵۰ تا ۱۰۰ درصد v/v) قرار گرفتند. نمونه‌های خشک شده روی پایه‌های مخصوص چسبیده و سطح آنها با طلا پوشش داده شد تا تصاویر آنها توسط میکروسکوپ الکترونی نگاره (LEO 440i, UK) با بزرگ‌نمایی ۵۰× و ۱۰۰۰× تهیه شود. تصاویر میکروسکوپ الکترونی توسط نرم افزار ImageJ (ImageJ 1.48c, USA) جهت بررسی کمی شامل تعداد و مساحت و کیفی ساختارهای پلی‌گونال سوریمی مورد پایش قرار گرفت.

داده‌ها با آزمون آنالیز واریانس (ANOVA) توسط نرم‌افزار آماری SPSS-15 مورد آنالیز قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. سطح معنی‌داری در آزمون‌ها برابر ۵ درصد در نظر گرفته شد. تمام اشکال و جدول‌ها توسط نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۰۷ ترسیم شدند.

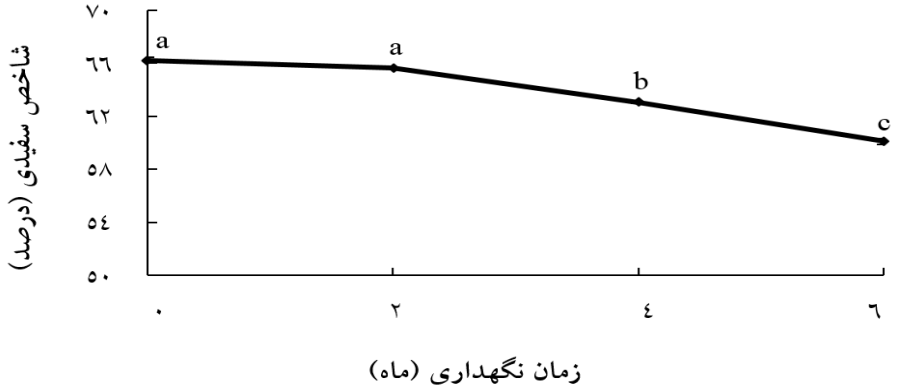
نتایج

شاخص سفیدی در سوریمی طی نگهداری در شرایط انجماد (۲±۱۸- درجه سانتی‌گراد) به صورت تدریجی و معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۱). بیشترین و کم‌ترین شاخص سفیدی به ترتیب در ماه صفر (۰/۲۰±٦٦/۲٤ درصد) و ماه ششم (۰/۲۳±٦۰/۱۱ درصد) نگهداری مشاهده شد.

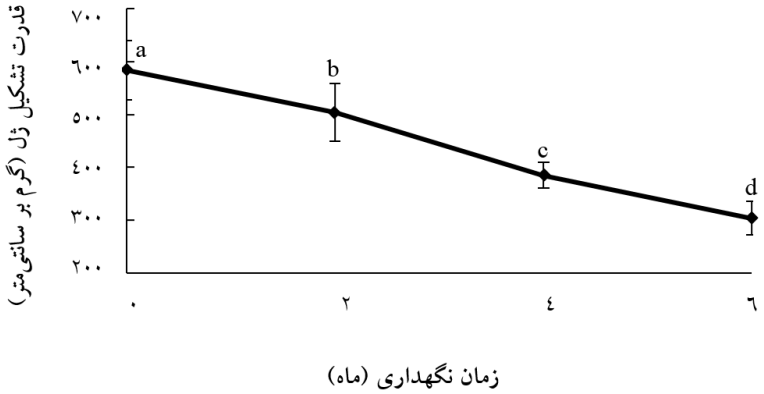
نگهداری سوریمی در شرایط انجماد اثر منفی بر قدرت تشکیل ژل کامابوکو داشت (شکل ۲)، به نحوی که این مقدار از ٥٦/٥٨٣±٥٨٣/٥٣ به ۳۱/٥۱۸±۳۰۳/٦۰ سانتی‌متر بر گرم در ماه ششم نگهداری رسید. قدرت تشکیل ژل یک شاخص مستقیم برای ارزیابی کیفیت پروتئین‌سوریمی ماهیان است.

محتویات رطوبت تحت فشار ژل کامابوکو سوریمی در طول دوره نگهداری به شکل معنی‌داری ($p<0.05$) از ٤/۲۹±۰/۱۸۱ درصد به ۰/۲٦۸±۷/٤۲ درصد افزایش یافت (شکل ۳). بنابراین بدیهی است که با افزایش رطوبت تحت فشار، ظرفیت نگهداری آب در نمونه‌ها کمتر و آب‌چک بیشتر گردیده است.

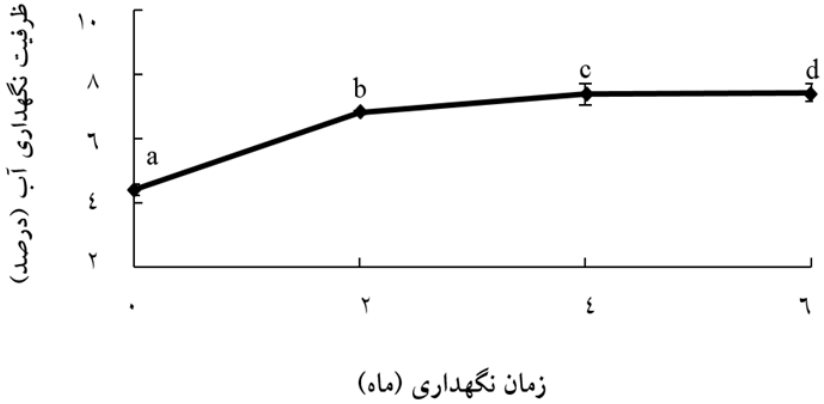
امتیاز آزمون تاکردن تمام نمونه‌ها در این مطالعه طی مدت نگهداری از کیفیت AA با گذشت زمان به درجات پایین‌تر تنزل نمود (جدول ۱).



شکل ۱. میانگین (±انحراف معیار) شاخص سفیدی سوریمی ماهی شوریده دهان سیاه در شرایط انجماد. حروف مختلف بیانگر اختلاف معنی‌دار ($p<0.05$) بین نمونه‌ها است.



شکل ۲. میانگین (±انحراف معیار) قدرت تشکیل ژل کامابوکو سوریمی ماهی شوریده دهان سیاه. حروف مختلف بیانگر اختلاف معنی‌دار ($p<0.05$) بین نمونه‌ها است.



شکل ۳. میانگین (±انحراف معیار) تغییرات رطوبت تحت فشار نمونه ژل کامابوکو تهیه شده از سوریمی ماهی شوریده دهان سیاه. حروف مختلف بیانگر اختلاف معنی‌دار ($p<0.05$) بین نمونه‌ها است.

جدول ۱. میانگین (±انحراف معیار) نتایج آزمون تاکردن نمونه‌های ژل کامابوکو سوریمی شوریده دهان سیاه در شرایط نگهداری در شرایط انجماد. حروف مختلف بیانگر اختلاف معنی‌دار ($p<0.05$) بین نمونه‌ها است.

زمان نگهداری	امتیاز
صفر	۵/۰۰±۰/۰۰۰[a]
۲	۵/۰۰±۰/۰۰۰[a]
٤	٤/۰۰±۰/۰۰۰[c]
٦	۳/۷۵±۰/۵۰۰[d]

تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های سوریمی در زمان‌های متفاوت با بزرگ نمایی ۵۰× و ۱۰۰۰× در شکل ٤ نشان داده شده است. الگوی اتصال عرضی بین پروتئین‌های میوفیبریل سوریمی در زمان صفر تقریباً مشابه بود، درحالی‌که با گذشت زمان نگهداری در شرایط انجماد اتصال عرضی بین پروتئین‌های میوفیبریل شروع به شکستن کرده و سبب کاهش نظم شبکه پروتئینی در ماه ششم نگهداری شد.

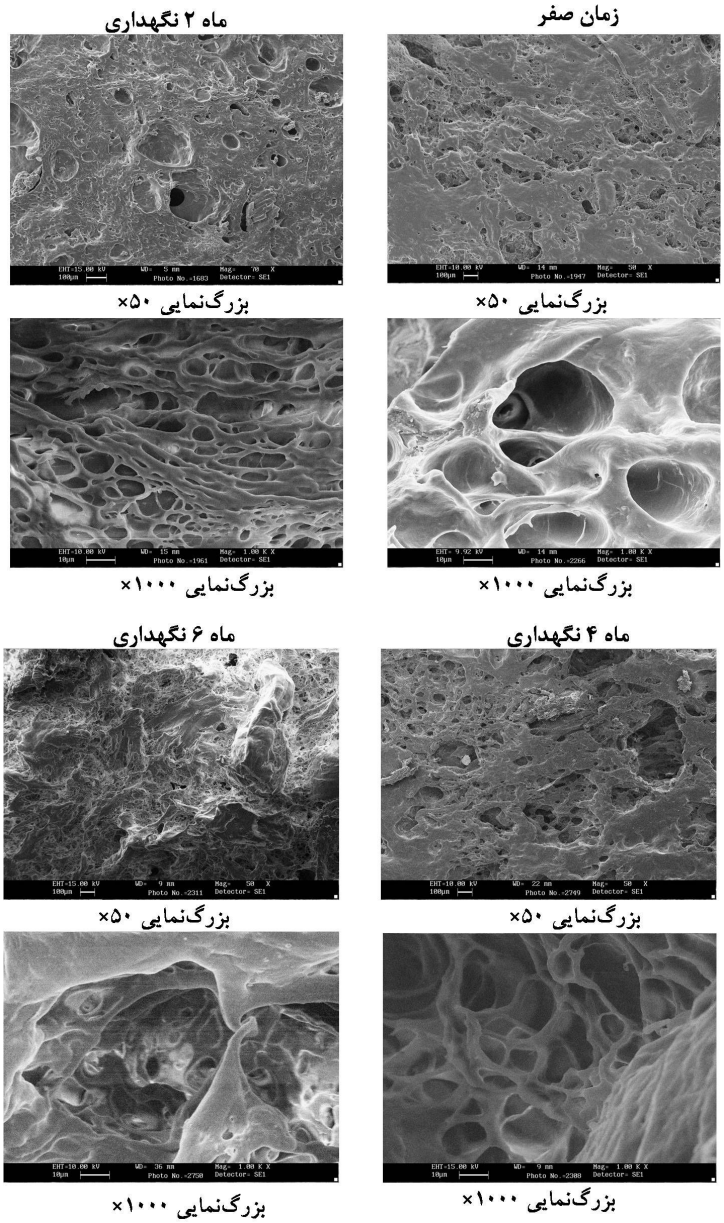
بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی توسط نرم افزار ImageJ در این تحقیق نشان داد که میانگین تعداد منافذ یا پلی‌گونال‌های سوریمی شوریده دهان سیاه به طور معنی‌داری با افزایش زمان نگهداری کاهش یافته و مساحت آنها افزایش یافت (جدول ۲، $p<0.05$). به عبارت دیگر با دناتوره شدن پروتئین‌های میوفیبریل (بخصوص میوزین) در طول انجماد و شکسته شدن پل‌های بین آنها حفرات بزرگ‌تری در شبکه پروتئینی سوریمی ایجاد شده که خود سبب افزایش مساحت و کاهش تعداد حفرات می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

شاخص سفیدی یکی از پارامترهای مهم در خصوص ارزیابی کیفی سوریمی مطرح بوده که بهبود این شاخص از طریق حذف گوشت سیاه، شستشو و آب‌گیری مناسب از گوشت چرخ شده ماهی حاصل می‌شود (Ochiai *et al*., 2001). حسینی‌شکرابی و همکاران (۱۳۹۲a) گزارش نمودند که عضله ماهی شوریده دهان سیاه کم‌چرب بوده و الگوی گوشت سیاه عضله آن نامحسوس است. بنابراین شاخص سفیدی سوریمی تولید شده از این ماهی نسبت به ماهیان پرچرب مثل آلاسکاپولاک (۵۵/٤۰±۰/۵٤۰ درصد؛ Jin *et al*., 2011) بالاتر بود. نتایج مشابهی نیز توسط Panayotis و همکاران (۲۰۰۸) در خصوص روند نزولی شاخص سفیدی سوریمی ساردین پس از ٦۰ روز نگهداری در شرایط انجماد ثبت شده است.

دلایل متعددی در خصوص کاهش شاخص سفیدی سوریمی ماهیان طی مدت زمان نگهداری به صورت منجمد ارائه شده که شامل اکسیداسیون میوگلوبین به مت-میوگلوبین که با تشکیل رنگ قهوه‌ای در محصول همراه است و همچنین محصولات حاصل از اکسیداسیون لیپیدها مثل آلدهیدها که سبب کاهش شاخص سفیدی سوریمی طی مدت نگهداری می‌شوند (Hutchings, 1999).

به طورکلی تغییر ماهیت پروتئین‌های میوفیبریل سوریمی طی انجماد سبب افت قابلیت تشکیل ژل سوریمی ماهی هوکی (*Macruronus novaezelandiae*)، آلاسکاپولاک و ماهی حسون معمولی (Macdonald *et al*., 1992؛ Scott *et al*., 1988) شده است. کاهش قابلیت تشکیل ژل سوریمی ماهیان‌طی‌نگهداری در شرایط انجماد به دلیل دناتوره شدن اکتومیوزین پروتئین سوریمی بوده که این



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نگاره از ریزساختار پروتئین‌های میوفیبریل سوریمی شوریده دهان سیاه در شرایط انجماد

جدول ۲. تغییر پارامترهای حاصل از تجزیه و تحلیل تصاویر SEM (میانگین±انحراف معیار) سوریمی ماهی شوریده دهان سیاه طی نگهداری در شرایط انجماد. حروف مختلف در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها است ($p<0.05$، $n=۳$).

زمان نگهداری	تعداد پلی‌گونال‌ها (عدد در میلی‌مترمربع)	مساحت پلی‌گونال‌ها (میکرومترمربع)
صفر	۱۵۰۳۸±۲۸۰[a]	۲۷±۰/۹[b]
۲	۲۱۵٤±۷۷۰[ba]	۳۵±۰/۹[ab]
٤	۱۱۳٤۹±٤۹۷[c]	۷٦±۱/٦[b]
٦	۱۰۳۹۹±٥٦٤[d]	۸٤±٤/٥[ca]

پروتئین‌های تخریب شده، در فرآیند تشکیل ژل شرکت نکرده و در نهایت قدرت تشکیل ژل کاهش می‌یابد (Sych *et al*.,1991). Pan و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که شاخص قدرت تشکیل ژل در طول ٦ ماه نگهداری سوریمی ماهی کپور علفخوار در شرایط انجماد به صورت تدریجی کاهش یافته و مقدار آن در ماه ششم نگهداری به ٤٤/٤٠٨±٢٧٣/١٠ سانتی‌متر بر گرم رسیده که از نتایج این تحقیق کمتر است. بنابراین احتمالاً سوریمی ماهی شوریده دهان سیاه نسبت به ماهی کپور علفخوار از بافت قوی‌تری برخوردار است. البته تفاوت در میزان شاخص قدرت تشکیل ژل سوریمی بسته به نوع ماهی، فصل صید، شرایط صید، روش فرآوری و شرایط نگهداری متغییر است (Park, 2005؛ Kaba, 2006). تغییر ماهیت پروتئین‌های میوفیبریل سوریمی به طورکلی سبب افت قابلیت تشکیل ژل سوریمی تهیه شده از ماهی هوکی (Macdonald *et al*., 1992)، آلاسکا پولاک (Scott *et al*., 1988) و ماهی حسون (Kaba, 2006) گردید.

دانشمندان متعددی گزارش نموده اند که رطوبت تحت فشار ژل کامابوکو سوریمی طی دوره نگهداری به صورت منجمد افزایش می‌یابد (Siah *et al*.,1998؛ Siddaiah *et al*., 2001). محتویات رطوبت تحت فشار سوریمی ماهی کپور نقره‌ای برای مثال پس از نگهداری ۳ ماه در سردخانه از ٤/٢٣±٠/١٣ درصد به ٦/٣٢±٠/١٢ درصد افزایش یافته است (جلیلی و امشی، ۱۳۹۰). تفاوت در مقدار محتویات رطوبت تحت فشار در سوریمی ماهیان مختلف بیانگر تفاوت در ظرفیت نگهداری آب شبکه ژل بوده که مستقیماً با ثبات پروتئین‌های میوفیبریل در ارتباط است (Smith, 1991). دناتوره شدن پروتئین میوزین عضله طی دوره نگهداری به‌صورت منجمد منجر به شکل‌گیری شبکه ژل نامرغوب، کاهش قابلیت ارتجاعی و کاهش ظرفیت نگهداری آب در ماتریس ژل می‌شود (Benjakul & Bauer, 2000).

آزمون تاکردن یک روش استاندارد ژاپنی بوده که تا حدودی بیانگر ساختار بافتی نمونه ژل سوریمی است (Foegeding & Davis, 2011). Turan و Sonmez (۲۰۱۰) همسو با نتایج این تحقیق مشاهده کردند که امتیاز آزمون تاکردن در سوریمی سفره ماهی خارپشت پس از ٦ ماه نگهداری در شرایط انجماد از امتیاز ۵ به حدود ۳ کاهش می‌یابد. جلیلی و امش (۱۳۹۰) گزارش نمودند که امتیاز تاپذیری ژل ماهی کپور نقره‌ای حاوی مواد محافظ سرمایی طی نگهداری ۳ ماه به صورت منجمد از درجه کیفی AA به C کاهش می‌یابد که از نتایج این تحقیق کمتر است.

ارزیابی تغییرات ریزساختارسوریمی نشان‌دهنده تغییرات پروفایل ساختار بافت نمونه‌های ژل تولیده شده از آن خواهد بود (Andrés-Bello *et al*., 2012). در این مطالعه یک روند تنزولی در خصوصیات ریزساختاری سوریمی مشاهده شد (شکل ۳ و جدول ۲) که با نتایج آزمون نفوذ همخوانی داشت. به طور مشابه، انجماد و افزایش زمان نگهداری سبب ایجاد ساختارهای پروتئینی درشت و نامنظم بدون جهت-گیری خاص در ریزساختار سوریمی ماهی سرخو چشم درشت شد (Julavittayanukul *et al*., 2006). Nopianti و همکاران (۲۰۱۲) با ارزیابی و مقایسه تصاویر میکروسکوپ الکترونی سوریمی ماهی سیم در دو زمان صفر و ٦ ماه پس از انجماد گزارش کردند که اندازه خلل و فرج‌های تشکیل شده در ریزساختار نمونه‌های سوریمی در ابتدا (زمان صفر) نسبت به ماه ششم نگهداری افزایش می‌یابد.

تعداد پلی‌گونال‌های سوریمی ماهی شوریده دهان سیاه از سوریمی ماهی کپور معمولی (٤٥±٨١٠٠ عدد در میلی‌متر مربع) (Jafarpour & Gorczyca, 2009) بیشتر بوده که احتمالاً نشان‌دهنده شبکه پروتئینی

متراکم‌تر و در نتیجه کیفیت تشکیل ژل بالاتر سوریمی تولید شده از این گونه ماهی است. به‌طورمشابه محققین متعددی بیان کرده اند که انجماد سبب تشکیل ماتریس پروتئینی ضعیف‌تر سازمان یافته نسبت به حالت غیرمنجمد در سوریمی ماهیان شده که با کاهش توانایی تشکیل ژل سوریمی همراه است (Pan*et al*., 2010؛ Andrés-Bello *et al*., 2012).

نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های مختلف فیزیکی و مکانیکی سوریمی و ژل کامابوکو ماهی شوریده دهان سیاه نشان داد که کیفیت سوریمی طی نگهداری در شرایط انجماد (۱۸- درجه سانتی‌گراد) از نظر خواص عملکردی پروتئین‌های میوفیبریل دچار افت نسبی شده درحالی که سوریمی تولیدی پس از ٦ ماه هنوز قابل استفاده بوده و میزان افت اکثر شاخص‌ها از نتایج سایرمحققین فاصله داشت. انسجام شبکه پروتئینی سوریمی طی مدت نگهداری در اثر دناتوره شدن پروتئین‌های میوفیبریل به دلیل تشکیل حفرات بزرگ‌تر در ریزساختار سوریمی کاهش یافت و درنتیجه خصوصیات بافتی نمونه ژل کامابوکو سوریمی افت نمود. البته تحقیقات بیشتر در خصوص تغییرات شاخص‌های شیمیایی، بیوشیمیایی، میکروبی و حسی این سوریمی با ارزش در شرایط انجماد جهت تعیین دقیق‌تر زمان ماندگاری این محصول ضروری به نظر می‌رسد.

منابع

جلیلی، ح. و امشی، ع.(۱۳۹۰) تغییرات فیزیکی، شیمیایی وکیفیت حسی سوریمی ماهی کپورنقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) تحت دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد. مجله علمی شیلات ایران، سال ۲۰ (۳):۳۳-٤٤.

حسینی‌شکرابی، س.پ.، حسینی، س.ا.، سلطانی، م.، کمالی، ا. و ولی‌نسب، ت. (۱۳۹۲a) تعیین ترکیبات شیمیایی تقریبی و الگوی الکتروفورتیک پروتئین گوشت ماهی شوریده دهان سیاه (*Atrobucca nibe*) در دریای عمان. مجله علمی-پژوهشی بهداشت مواد غذایی، ۳(۱): ۱۱-۲۳.

حسینی‌شکرابی، س.پ.، حسینی، س.ا.، سلطانی، م.، کمالی، ا. و ولی‌نسب، ت. (۱۳۹۲b) تعیین ترکیبات عناصر معدنی و اسیدهای آمینه فیله ماهی شوریده دهان سیاه (*Atrobucca nibe*) در دریای عمان. مجله علمی-پژوهشی شیلات دانشگاه آزاد اسلامی آزادشهر، سال ۷، شماره ٤.

Alvarez, C., Couso, I. and Tejada, M. (1999) Microstructure of suwari and kamaboko sardine surimi gels. Journal of the Science of Food and Agriculture, 79(6): 839.

Andrés-Bello, A., Iborra-Bernad, C., García-Segovia, P. and Martínez-Monzó, J. (2012) Effect of Konjac Glucomannan (KGM) and Carboxymethylcellulose (CMC) on some Physico-Chemical and Mechanical Properties of Restructured Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*) Products. Food Bioprocess Technology, 5: 73-79.

Benjakul, S. and Bauer, F. (2000) Physicochemical and enzymatic change of cod muscle protein subjected to freeze-thaw cycle. Journal ofSince Food Agriculture, 80: 1143-1150.

Benjakul, S., Visessanguan, W., Thongkaew, C. and Tanaka, M. (2005) Effect of frozen storage on chemical and gel-forming properties of fish commonly used for surimi production in Thailand. Food Hydrocolloids, 19: 197-207.

Foegeding, A. and Davis, J.P. (2011) Food protein functionality: A comprehensive approach Food Hydrocolloids, 25: 1853-1864.

GLOBEFISH (2012) World Surimi Market. GLOBEFISH Research Programme. Rome, FAO. 125 p.

Hutchings, J. B. (1999) Food Color and Appearance, Aspen Publishers, Gaithersburg, MD. pp. 414-416.

Jafarpour, J. and Gorczyca, E.M. (2009) Rheological characteristics and microstructure of common carp (*Cyprinus carpio*) surimi and kamaboko gel. Food Biophysics, 4: 172-179.

Jin, S.K., Kim, I.S., Jung, H.J., Kim, D.H., Choi, Y.G. and Hur, S.J. (2011) Effect of Cryoprotectants on Chemical, Mechanical and Sensorial Characteristics of Spent

Journal of Food Process Engineering, 31: 372-397.

Park, J.W. (1994) Functional protein additives in surimi gels. Journal of Food Science, 59(3): 525-527.

Park, J.W. and Lin, T.M.J. (2005) Surimi: Manufacturing and evaluation. In: Park. J.W. (eds.) Surimi and surimi seafood. Taylor and Francis Publishers, Boca Raton, pp. 33-106.

Pipatsattayanuwong, S., Park, lW. and Morrissey, M.T. (1995) Functional properties and shelf life of fresh surimi from Pacific whiting. Food Science, 60(6): 1241-1244.

Poon, K.H., Lim, P.Y., Ng, M.C. and Ng, P.C. (1981) The suitability of leached meat of small demersal fish for making fish jelly products. Singapore Journal of Scientific and Industrial Research, 9: 28-37.

Rawdkuen, S. and Benjakul, S. (2008) Whey protein concentrate: Autolysis inhibition and effects on the gel properties of surimi prepared from tropical fish. Journal of Food Chemistry, 106: 1077-1084.

Scott, D.N., Porter, R. W., Kudo, G., Miller, R. and Koury, B. (1988) Effect of freezing and frozen storage of Alaska pollock on the chemical and gel-forming properties of surimi. Journal of Food Science, 53: 353-359.

Shenouda, S.Y.K.)1980) Theories of protein denaturation during frozen storage of fish flesh. Advanced Food Research, 26: 275-311.

Siah, W.M., Yu, S.Y., Russly, A.R. and Dzulkifly, M.H. (1998) Effect of washing on the storage stability of *Selaroides leptolepis* and *Aristichthys nobilis*. Asian Fisheries Science, 11:19-29.

Siddaiah, D., Reddu, G.V.S., Raju, C.V. and Chandrsekhar, T.C. (2001) Changes in lipids, proteins and kamaboko forming ability of Silver carp)*Hypophthalmichthys molitrix*) mince during frozen storage. Food Research International, 34: 47-53.

Singh, R.K., Balange, A.K. and Garg, D.K. (2005) Characteritcs of pink perch (*Nemipterus japonicus*) surimi at frozen temperature. Indian Journal of Fisheries, 51(2): 161-166.

Smith, D.M. (1991) Factors influencing heat induced gelation of muscle proteins. In: Paris N. and Bradford R. (eds.) Interactions of food proteins. Washington, American Chemical Society.

Laying Hen Surimi. Food Bioprocess Technology, 4: 1407-1413.

Julavittayanukul, O., Benjakul, S. and Visessanguan, W. (2006) Effect of phosphate compounds on gel-forming ability of surimi from bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*). Food Hydrocolloids, 20: 1153-1163.

Kaba, N. (2006) The Determination of Technology and Storage Period of Surimi Production from Anchovy (*Engraulis encrasicholus* L., 1758).Turkish Journal of Fisheries Aquaculture Science, 6: 29-35.

Lanier, I.C. (1994) Functional food protein ingredients from fish. In:Sokorski Z.E., Pan B.S. and Shehidi, F. (eds.) Seafood proteins.Chapman and Hall, New York, pp. 99-112.

Lee, C. (1984) Surimi process technology. Journal of Food Technology, 38(11): 69-80.

MacDonald, G.A. and Lanier, T. (1991) Carbohydrates as cryoprotectants for meats and surimi. Food Technology, 45(3): 152-159.

Matsumoto, J.J. (1980) Chemical deterioration of muscle proteins during frozen storage. American Chemistry Society Symposium Series, 123: 95-124.

Ng, C.S. (1987) Measurement of free and expressible drips. In:Hasegawa H. (eds.) Laboratory manual on analytical methods and procedures for fish and fish products. Southeast Asian Fisheries Development Center,Singapore,pp. 1-2.

Nopianti, R., Huda, N., Fazilah, A., Ismail, N., and Easa, A.M. (2012) Effect of different types of low sweetness sugar on physicochemical properties of threadfin bream surimi (*Nemipterus* spp.) during frozen storage. International Food Research Journal, 19(3): 1011-1021.

Ochiai, Y., Ochiai, L., Hashimoto, K., Watabe, S. (2001) Quantitative estimation of dark muscle content in the mackerel meat paste and its products using antisera against myosin light chains. Journal of Food Science, 66:1301-1305.

Pan. J., Shen. H. and Luo, Y. (2010) Cryoprotective effects of trehalose on grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) surimi during frozen storage. Journal of Food Processing Preservation, 34(4): 715-727.

Panayotis, D., Karayannakidis, A. and Zotos, A. (2008)The physicochemical changes in sardine flesh during frozen storage at -18ºC.

Sych, J., Lacroix, C., and Carrier, M. (1991) Determination of optimal level of lactitol for surimi. Journal of Food Science, 56: 285-290.

Turan, H. and Sonmez, G. (2010) Chenges in proximate composition of thornback ray (*Raja clavata*, L. 1758) surimi during washing and frozen storage. Journal of Food Processing and Preservation, 34: 24-34.

Changes in physical and microstructure attributes of surimi from black mouth croaker (Atrobucca *nibe*) during frozen storage (-18ºC)

Seyed Pejman Hosseini-Shekarabi[1], Seyed Ebrahim Hosseini[2*], Mehdi Soltani[3], Abolghasem Kamali[1] and Toraj Valinassab[4]

1) Department of Fisheries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2) Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. *Corresponding Author Email Address: ebhoseini@srbiau.ac.ir
3) Department of aquatic animal health, Faculty of veterinary medicine, University of Tehran, Tehran, Iran.
4) Iranian Fisheries Science Research Organization, Tehran, Iran.

Date of Submission: 2013/12/07 Date of Acceptance: 2014/02/19

Abstract

Black mouth croaker (*Atrobucca nibe*) is considered as a new and valuable fish stock in the deep water of the Oman Sea. In this study, nonmarket sized of the fish was subjected to produce surimi and kamabako gel manually and changes in the physical and microstructure properties of them during 6 months at freezing conditions were investigated. With increasing storage time, whiteness index from 66.24±0.20% to 60.11±0.23% and gel strength from 583.53±56.583 to 303.60±31.518 cm g^{-1} reduced after six months at frozen storage. The maximum expressible moisture content of kamabako gel sample (7.42±0.26%) was obtained in six months storage ($p<0.05$). With increasing storage time, quality score of surimi gel decreased to 3.75±0.500 grade. Due to increase the shelf life, rough and irregular of protein structures were appeared in the protein network of the surimi. The average number of surimi polygonals were significantly decreased from 15038±280 to 10399±564 number per mm2 and their area were significantly increased from 27±0.9 to 84±4.5 µm2, with increasing storage time ($p<0.05$). The results indicated that in spite of relative decreasing in the functional properties of surimi proteins due to denaturation, produced surimi acceptable after six months at frozen storage.

Keywords: microstructure, surimi, black mouth croaker, kamaboko gel, frozen storage.